

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, член-корреспондента РАН, профессора, Евдокимова Ивана Алексеевича на диссертационную работу **Барковской Ирины Александровны** на тему: «Разработка технологических решений для иммобилизации йода и цинка белковыми матрицами молочной сыворотки», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям 4.3.3 Пищевые системы (технические науки) и 4.3.5 Биотехнология продуктов питания и биологически активных веществ (технические науки)

Актуальность темы исследования

Разработка инновационных подходов к глубокой переработке сельскохозяйственного сырья остаётся одним из приоритетных направлений в агропромышленной науке, что определяется необходимостью более рационального использования ресурсов и получения продуктов с высокой добавленной стоимостью. Особое значение в этом контексте приобретают технологии, направленные на модификацию структуры и функциональных свойств молочной системы, включая вторичного молочного сырья. В числе таких решений наибольшую научную и прикладную значимость сохраняет направление, связанное с переработкой молочной сыворотки – ценного источника полноценного белка и биологически активных компонентов.

Актуальность исследований, направленных на создание белковых ингредиентов специализированного и функционального назначения, подтверждается устойчивым ростом интереса к продуктам с высокой нутриентной плотностью и доказанным физиологическим действием. Подобная тенденция, в первую очередь, обоснована тем, что молочные белки обладают выраженным биофункциональным потенциалом, включая антиоксидантные, иммуномодулирующие, гипотензивные и другие свойства, что делает их перспективным субстратом для иммобилизации и доставки микроэлементов. Во-вторых, рост числа алиментарно-зависимых заболеваний, ассоциированных с недостаточным поступлением жизненно важных нутриентов, включая йод, определяет спрос на разработку технологий новых ингредиентов и обогащения пищевых продуктов массового спроса.

В связи с вышеизложенным, диссертационное исследование Барковской И.А. на тему: «Разработка технологических решений для иммобилизации йода и цинка белковыми матрицами молочной сыворотки», направленное на создание биодоступных форм микроэлементных комплексов на белковой основе, безусловно, является актуальным. Полученные соискателем новые

данные отвечают как вызовам современной молочной промышленности, так и практическим задачам здоровьесбережения населения.

Обоснованность сформулированных гипотез и выводов не вызывает сомнений, благодаря глубоко проведенному анализу научно-технической литературы, посвящённой современному состоянию проблемы йододефицита и мировым практикам его коррекции. В работе представлен обстоятельный обзор ассортимента йодированных пищевых добавок и продуктов, что позволяет объективно оценить существующие подходы и выявить актуальные направления для дальнейших исследований. Соискатель приводит значительный массив экспериментальных данных, полученных и проанализированных на каждом этапе исследования. Их интерпретация логично согласуется с представленными в диссертации выводами, демонстрируя системность научного подхода и высокую степень достоверности результатов. Основные положения работы, выносимые на защиту, получили широкое обсуждение в профессиональном научном сообществе, а разработанные технологии прошли апробацию в производственных условиях (ФГАНУ «ВНИМИ», ОАО «Брянский молочный комбинат», ООО «Итальянские традиции», ПАО Молочный комбинат «Воронежский»).

Тема исследования Барковской И.А. и содержание диссертационной работы полностью соответствуют паспортам научных специальностей 4.3.3 Пищевые системы (технические науки) и 4.3.5 Биотехнология продуктов питания и биологически активных веществ (технические науки).

Достоверность, новизна исследований и полученных результатов

Достоверность полученных результатов подтверждается использованием стандартизованных и широко признанных в научно-исследовательской практике методик, а также применением методов математической обработки массива экспериментальных данных.

Научная новизна диссертационной работы Барковской И.А. заключается в формировании комплексного научно-практического подхода к последовательной модификации белков молочной сыворотки с целью их обогащения эссенциальными микроэлементами — йодом и цинком — в органически связанной форме. Впервые в работе представлены рациональные параметры хелатирования цинка белками молочной сыворотки с изменённым соотношением β -лактоглобулина и α -лактальбумина, проведена оптимизация гидролиза белкового субстрата с хелатной формой цинка и определены эффективные режимы йодирования полученного гидролизата, обогащенного цинком.

Оценка объема, структуры и содержания работы

Диссертационная работа Барковской И.А. оформлена в соответствии с действующими требованиями ВАК РФ. Диссертация обладает структурой, характерной для квалификационной научной работы, и включает: введение, анализ априорной научно-технической информации (глава 1), методологию проведения исследований (глава 2), экспериментальную часть (главы 3–5), заключение, перечень сокращений и условных обозначений, список литературы и приложения. Исследование соискателя отличается логичностью, последовательностью, полнотой и завершённостью как по объёму и содержанию, так и по сформулированным выводам.

Работа изложена на 138 страницах, включает 28 таблиц, 17 рисунков и 3 приложения. Список литературы насчитывает 155 источников, из них 72 — на английском языке.

Во введении соискатель обосновывает актуальность исследования, представляет цель и задачи научно-исследовательской работы, формулирует научную новизну и практическую значимость полученных результатов диссертации, приводит информацию об апробации результатов исследования, полученных наградах, участии в выполнении гранта РНФ по теме диссертационной работы, научных публикациях.

Первая глава посвящена анализу современного состояния проблемы йододефицитных состояний. Приводится обзор существующих средств профилактики дефицита йода и их недостатков. Сформулирован перечень ключевых факторов, влияющих на эффективность алиментарной профилактики. Обоснована перспективность использования белков молочной сыворотки для получения ингредиента, обогащённого органическими формами йода и цинка.

Вторая глава содержит схему проведения исследований, объекты и методы исследований, подходы к планированию экспериментов и статистической обработке массива экспериментальных данных.

В третьей главе автор представляет результаты оптимизации процесса термоселективного фракционирования белков молочной сыворотки и динамики хелатирования ионов цинка модифицированным белковым профилем.

Раздел 3.1 посвящен проведению оптимизации процесса селективной термоденатурации белков без использования и с использованием гексаметафосфата натрия. Автор выдвигает и в последствии подтверждает гипотезу о повышении эффективности процесса фракционирования и снижения негативного температурного воздействия на белки молочной сыворотки при внесении хелатора кальция.

В разделе 3.2 автор приводит результаты исследования динамики хелатирования ионов цинка на модельных системах с нативным и модифицированным соотношением β -лактоглобулина к α -лактальбумину. Подтверждена гипотеза о повышении массовой доли органической формы цинка, хелатированного белками, при повышении массовой доли α -лактальбумина в субстрате, ассоциированную с наличием в белке участка сильного связывания двухвалентных металлов.

В четверной главе автор формирует подход к моделированию гидролиза сывороточных белков с учетом дескрипторов и осуществляет оптимизацию гидролиза модифицированного белкового субстрата. Приведены результаты исследования закономерностей йодирования белков молочной сыворотки и очистки субстрата от неорганических примесей йода и цинка. Проведен подробный анализ пептидного профиля обогащенного гидролизата сывороточных белков.

Раздел 4.1 посвящен разработке подхода к протеазному скринингу, обеспечивающему сохранение участков связывания двухвалентных металлов и повышение количества доступных реакционноспособных к связыванию йода аминокислотных групп сывороточных белков. По результатам применения сформулированной модели соискатель определяет панкреатический трипсин как наиболее подходящую для гидролиза белкового субстрата протеазу.

В разделе 4.2 приведены результаты оптимизации гидролиза белкового субстрата с модифицированным соотношением сывороточных белков и хелатной формой цинка трипсином и последующему изучению динамики процесса йодирования белков молочной сыворотки и их гидролизатов. Автор подтверждает гипотезу о повышении концентрации органически связанного с белками йода при проведении их частичного гидролиза. В результатах исследования приведены режимы гидролиза обогащенного цинком субстрата, позволяющие сохранить начальную концентрацию хелатного цинка, связанного с белками, и обеспечить максимальную степень связывания йода.

Раздел 4.3 содержит результаты исследования рациональных режимов очистки белковых субстратов от неорганических примесей цинка и йода для каждого этапа исследования закономерностей обогащения белков микроэлементами.

В разделе 4.4 представлен пептидный профиль обогащенного гидролизата сывороточных белков. Автор приводит перечень из 59 идентифицированных пептидов, в том числе 3-х, йодированных по тирозину. Выявлены не только йодированные аминокислотные последовательности, но и фрагменты с доказанной биологической активностью. На основе

проведенного исследования соискатель сформировал потенциальную схему гидролиза сывороточных белков трипсином.

В пятой главе представлены технологии производства сухого обогащенного гидролизата сывороточных белков и питьевого обогащенного молока, их физико-химические, микробиологические и технологические свойства.

В разделе 5.1 приведена технология производства сухого гидролизата сывороточных белков, обогащенного органическим йодом и цинком, в соответствии с утвержденным СТО 00419785-081/2-2024 «Гидролизат сывороточного белка сухой, обогащенный йодом и цинком». Для достижения соотношения микроэлементов, соответствующего физиологической потребности организма в них, в рамках исследования разработана и зарегистрирована программа для ЭВМ, учитывающая особенности белкового сырья и параметров процесса йодирования.

В разделе 5.2 обсуждены результаты исследования термоустойчивости водных растворов гидролизата и сохранности органических форм микроэлементов при моделировании основных технологических операций производства молочной продукции (гомогенизация, пастеризация, сквашивание). Соискатель приводит технологию обогащенного питьевого пастеризованного молока, вырабатываемого в соответствии с технологической инструкцией к СТО 00419785-081/2.1-2024 «Молоко питьевое пастеризованное, обогащенное йодом и цинком».

Практическая значимость диссертационной работы заключается в разработке и регистрации программы для ЭВМ «Программа для моделирования процесса йодирования белков молочной сыворотки» (свидетельство о государственной регистрации № 2025661267), в разработке технологий производства сухого обогащенного гидролизата сывороточных белков и обогащенного питьевого молока, а также в создании комплекта технической документации на разработанные продукты (СТО «Гидролизат сывороточного белка сухой, обогащенный йодом и цинком», СТО «Молоко питьевое пастеризованное, обогащенное йодом и цинком»).

Выводы содержат основные результаты исследований, полученные соискателем, и соответствующие сформулированным задачам.

В приложении диссертационной работы содержатся документы, подтверждающие регистрацию программы для ЭВМ, разработку комплекта технической документации и промышленную апробацию разработанных технологий.

Автореферат Барковской И.А. в полной мере отражает основные разделы и результаты диссертационной работы.

Отличительной особенностью автореферата является список опубликованных автором работ, включающих 10 научных статей, в том числе, 3 статьи, входящие в международные базы цитирования Scopus, Web of Science и 4 статьи, входящие в перечень ВАК РФ (К1-К2).

Замечания, вопросы и рекомендации по диссертации:

В порядке дискуссии имеется ряд вопросов и замечаний.

1. Что подразумевает автор под технологическими решениями? Перечислите примеры реализации таких решений в Вашей работе.

2. Чем обусловлен выбор гексаметафосфата натрия для селективного фракционирования сывороточных белков?

3. Вызывает вопрос корректности применения термина «кинетика» в подрисуночных надписях (рис. 3.4, и рис.4.2). Судя по представленным описаниям, автор изучал «динамику» изменения концентрации органических форм цинка и йода во времени?

4. Некорректно название раздела 4.3 «Исследование принципов баромембранной очистки...». Вероятно, в данном случае, речь идет об «Исследовании закономерностей или параметров баромембранной очистки...».

5. В списке сокращений и тексте диссертации отсутствует расшифровка аббревиатуры ЛФ, αS_1 -КН, αS_2 -КН и β -КН.

6. На рис. 5.2 не указаны технологические параметры процесса сепарирования.

7. В разделе 5.1 автор утверждает о повышении усвояемости и снижении аллергенности сывороточных белков при их гидролизе. Определение снижения аллергенности осуществлялось экспериментально?

8. В заключении (п.3) автор использует термин «дескрипторная модель». Какие дескрипторы применялись в работе на этапе биоинформатического моделирования гидролиза сывороточных белков?

Представленные вопросы и замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы Барковской И.А.

Заключение

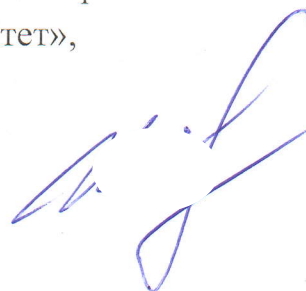
По моему мнению, диссертационная работа «Разработка технологических решений для иммобилизации йода и цинка белковыми матрицами молочной сыворотки» по актуальности, научной новизне и практической значимости соответствует требованиям пп. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, **Барковская Ирина**

Александровна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальностям 4.3.3 Пищевые системы (технические науки) и 4.3.5 Биотехнология продуктов питания и биологически активных веществ (технические науки).

Официальный оппонент, заведующий
базовой кафедрой технологии молока и
молочных продуктов ФГАОУ ВО «Северо-
Кавказский федеральный университет»,
докт. техн. наук, профессор,
член-корреспондент РАН

26.08.2025 г.

Адрес: 355017, г. Ставрополь,
ул. Пушкина, 1, СКФУ
сайт: www.ncfu.ru
e-mail: ievdokimov@ncfu.ru
телефон: (8652)330-351



Евдокимов Иван
Алексеевич

